

在线社交网络中的病毒免疫

黄 鑫, 邓倩妮

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘 要: 近年来, 随着在线社交网络的发展, 人们在移动设备上进行社交活动正变得越来越频繁. 然而, 系统平台的开放使得病毒及恶意软件能够在手机移动网络上利用社交信息进行传播. 所以我们需要找到一种免疫策略, 从而快速地阻止网络中的病毒传播. 现有的针对在线社交网络的免疫策略无法适应实际的网络结构. 因此, 我们提出了基于目标免疫策略的模型, 通过分析用户的社交信息, 制定更为有效的免疫策略. 分析比较两种策略下社交网络中的病毒感染情况, 我们发现基于目标免疫策略的模型比现有模型更为快速有效.

关键词: 在线社交网络; 移动网络; 病毒传播; 目标免疫

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)03-0085-04

Worm Immunization for Online Social Network

HUANG Xin, DENG Qian-ni

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of online social network, it seems more and more popular that we use mobile devices to connect with other people. However, with the increased openness of operating systems, it makes realistic for worms and malicious software to propagate from one phone to another in mobile networks. So we need to find a strategy to efficiently contain the propagation of worms on the network. Existing strategies used for online social network cannot adapt to the structure of the real network. So we proposed a model based on target immunization, which can be used to design a more efficient counter—mechanism. Through analysis and comparing the infection situations under these two different strategies, we find that our model is faster and more efficient.

Key words: online social network; mobile networks; worm propagation; targeted immunization

1 引言

随着智能手机等智能移动终端的快速发展, 越来越多的应用正运行在开放式应用程序接口 (Open—API) 的操作系统上. 这一开放却也使得病毒及恶意软件可以更轻易地在移动设备上进行传播. 另一方面, 许多社交网络都可以运行在开放式应用程序接口的移动设备上. 这也导致了病毒可以利用人们的社交信息, 在移动网络上进行快速传播, 从而感染整个网络. 其中, 最著名的莫过于在社交网络上传播的“Koobface”病毒^[1-2]及通过蓝牙接口进行传播的“Cabir”病毒^[3].

补丁传播技术在有线网络中已经成功发展起来^[4]. 但由于移动网络的带宽限制, 在对网络进行病毒免疫的初期, 不可能在同一时间内将补丁传播给网络中的所有设备, 故只能选取一定数量的节点进行先期免疫.

本文提出了基于目标免疫策略的免疫模型: FNSI 模型 (Fast Node Selection Immunization). 其对重要性较高的节点进行先期免疫, 消除其感染几率及对周围节点的影响, 从而防止病毒的快速传播. 实验表明, 我们所提出的模型比现有的免疫策略更为快速、高效.

2 相关工作

大部分已有的在移动网络上进行病毒免疫的模型没有考虑用户的社交行为。

最近, Zhu^[5]等提出利用社交网络的社团结构特性进行免疫策略的设计。但是, 该模型存在社团颗粒度的问题。

Nam^[6]等提出了在动态网络中进行重叠社团的划分方法, 并将其应用于病毒免疫的策略上。然而, 该模型只对社团重叠部分的节点进行先期免疫, 没有将连接两个分离社团的边缘节点考虑进去, 无法防止病毒在分离社团间的传播。

3 免疫策略

对于移动网络上的在线社交网络, 用户的传播病毒能力与受感染能力都是由其度的大小、以及它与周围邻居间的交互频繁程度所决定的。我们将量化定义这两个值的大小, 提供它们的计算公式, 并提出具体的免疫策略。

3.1 网络拓扑图的建模

我们将整个在线社交网络看作一个加权无向图 $G = (V, E)$ 。其中, V 和 E 分别是节点与边的集合。对于每个 $i \in V$, 其表示为移动网络中的一台设备, 即一个用户。 d_i 表示为节点 i 的度, 而 $m(i, j)$ 表示为 i 向 j 进行交互的次数。对于每条边 $e(i, j)$, 其表示用户 i 和 j 之间存在交互。这样, 我们定义边 $e(i, j)$ 的权重为:

$$w(i, j) = m(i, j) + m(j, i)$$

3.2 社团划分免疫法

在介绍我们的 FNSI 模型之前, 我们有必要了解下 Zhu 所提出的基于社团划分的免疫方法。

Zhu 的方法为启发式方法, 在第一次迭代中, 首先选取网络中权重最大的边, 并由这条边及其两个节点组成一个初始社团。接着对这一社团进行扩展, 不断寻找与其之间连接度最大的邻居节点。并按照其对社团内部连接度的贡献来判断是否将其加入社团。

而对于之后的数次迭代, 其将每个社团看作作为一个节点, 节点与节点间的连接度定义为节点所表示的社团间的连接度。并同样进行扩展处理。这一阶段称之为压缩阶段。最后, 在恢复阶段中, 将节点所表示的社团恢复成节点集。

3.3 FNSI 模型

这一节中, 我们将对我们提出的 FNSI 模型进

行介绍。我们将量化定义用户的传播病毒能力与受感染能力这两个值的大小, 并提出具体的免疫策略。

3.3.1 用户激活病毒的概率

对于每个用户而言, 当其从邻居接收到一条包含病毒的信息时, 是否对其激活取决于其与邻居的交互频繁程度。用户与邻居的交互越频繁, 其激活该病毒的概率也就越大。所以, 对于用户 i 激活来自用户 j 的病毒的概率, 有如下定义:

$$P_{\text{act}}(i \leftarrow j) = \frac{w(i, j)}{\max\{w(i, k), k \in \text{Nei}(i)\}} \times 100\%$$

其中, $w(i, j)$ 表示边 $e(i, j)$ 的权重, $\text{Nei}(i)$ 表示节点 i 的邻居节点集合。

3.3.2 用户传播病毒能力指数

对于每个用户而言, 若受到了病毒感染, 则他继续感染每个邻居节点的能力是不同的, 需要考虑其邻居激活来自该用户的病毒的概率。另一方面, 若一个用户的邻居越多, 即节点的度越大, 则它可以感染的节点也越多。此外, 两个用户间的交互程度越频繁, 其之间的病毒传播可能性也就越大, 而这是由边 $e(i, j)$ 的权重 $w(i, j)$ 所定义的。综合以上三点, 定义了用户 i 的传播病毒能力指数:

$$Cap_{\text{infect}}(i) = \sum_{j \in \text{Nei}(i)} [w(i, j) \times P_{\text{act}}(j \leftarrow i)]$$

其中, $w(i, j)$ 表示边 $e(i, j)$ 的权重, $P_{\text{act}}(j \leftarrow i)$ 表示节点 j 激活来自节点 i 的病毒的概率, $\text{Nei}(i)$ 表示节点 i 的邻居节点集合。

3.3.3 用户受感染能力指数

与用户的传播病毒能力类似, 用户受到来自周围邻居的病毒的感染能力也需要考虑三个因素: 用户激活来自邻居的病毒的概率、用户的邻居数目、以及用户与各个邻居的交互频繁程度。所以, 类似于用户传播病毒能力指数的定义, 对于用户的受感染能力指数, 具体定义如下:

$$Cap_{\text{infect}}(i) = \sum_{j \in \text{Nei}(i)} [w(i, j) \times P_{\text{act}}(i \leftarrow j)]$$

其中, $w(i, j)$ 表示边 $e(i, j)$ 的权重, $P_{\text{act}}(i \leftarrow j)$ 表示节点 i 激活来自节点 j 的病毒的概率, $\text{Nei}(i)$ 表示节点 i 的邻居节点集合。

3.3.4 免疫策略的制定

根据每个用户的传播病毒能力指数及受感染能力指数, 我们便可以确定网络中每个用户的重要性, 从而基于目标免疫策略, 从网络中选取重要性最大的用户进行先期免疫。用户 i 的重要性定义如下:

$$I(i) = Cap_{\text{infect}}(i) + Cap_{\text{infect}}(i)$$

则整个免疫策略的步骤为:

(1)根据定义,对每个节点的重要性进行计算.

(2)按照节点的重要性,对图中的节点根据重要性进行降序排列.

(3)对节点按照重要性由高到低进行选取,直至数量达到先期免疫补丁的数目,并对这些节点进行先期免疫.这些关键节点作为补丁种子节点,在后续的过程中将补丁传播给其周围的节点.

4 实验

当免疫策略制定完之后,我们需要对不同的免疫策略进行实验评估与比较,观察其对于病毒感染与传播的影响.本文中,我们评估了以 Zhu 为代表的社团划分免疫法以及我们制定的基于目标免疫策略的方法.

4.1 数据集

本文所使用的数据集来自于 Facebook. 数据集中包含了 46952 个用户以及这些用户之间的交互信息.

4.2 病毒传播模型与免疫模型

根据数据集所提供的信息,我们对于网络中病毒的传播过程进行了建模. 我们假设病毒可以通过用户的联系人列表所提供的信息来进行传播. 用户激活来自某一联系人的病毒的概率与他们之间的交互频繁程度成正比;而病毒从一个用户传播到另一个用户所用的时间,与他们之间的交互频繁程度成反比. 一旦某个用户的移动设备被病毒感染,则它会在 t 个单位时间之后将病毒传播给其他用户. 而对于免疫模型,其补丁的传播形式与病毒传播模型类似.

在开始阶段,我们利用均匀分布在网络中挑选了 0.1% 的用户作为病毒节点,并令其在网络中进行病毒传播. 当网络中的病毒感染率达到阈值 α 时,我们将启动免疫过程,按照免疫策略挑选 0.1% 的用户作为补丁节点,并令其在网络中进行补丁的传播.

4.3 社团划分免疫法

我们利用数据集首先对 Zhu 的社团划分免疫法进行了评估.

如图 1 所示,我们发现 Zhu 方法中随着迭代次数的增加,图中最大社团的尺寸将会直线上升. 产生这一现象的主要原因是由于该方法在每次迭代时,由于社团与社团间连接度的定义(即两个社团之间边的权重之和),其会倾向于将较大的社团合并成一个更大的社团,从而导致大社团的尺寸急剧增加.

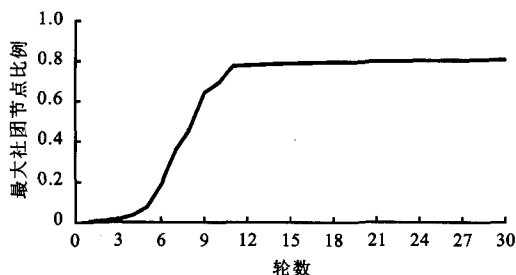


图1 最大社团大小与迭代轮数

另一方面,我们评估了其每次迭代时所需要的先期补丁数目. 从图 2 中,我们可以发现,虽然先期免疫节点的数目随着迭代轮数的上升而下降,但是当下降到 35% 左右之后,则不再显著下降. 在第 10 轮迭代结束后,先期免疫节点的数目大约是整个网络节点数的 40%. 而在实际情况中,由于受到网络带宽的限制及网络大小的影响,在网络规模较大的情况下,先期所能进行补丁修复的节点数目可能非常少,不可能满足算法所挑选出的先期免疫节点的数目. 另外,第 10 轮迭代结束后,网络中的最大社团的大小已接近于整个网络的大小. 若按此方法在补丁数目受限的条件下挑选社团的边缘节点作为先期免疫节点,则已经丧失了其作用,病毒仍会在大社团的内部进行传播. 这一实验结果也从一定程度上验证了引入目标免疫策略的必要性及可行性.

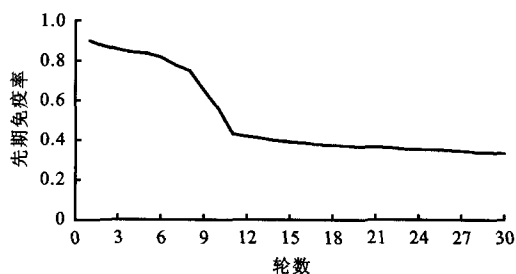


图2 先期免疫节点与迭代轮数

4.4 病毒感染率与时间

图 3 与图 4 显示了随着时间的演变,网络中病毒感染率的情况. 对于病毒感染率阈值 α ,我们分别做了 $\alpha=10\%$ 及 $\alpha=20\%$ 两组实验,分别表示当网络中的病毒感染率达到 10% 与 20% 时,将启动免疫过程.

从图 3 和图 4 中,我们可以看出,在启动了免疫过程后,我们提出的基于目标免疫的方法在任一时刻都要比 Zhu 提出的社团划分免疫法要好,网络中的病毒感染率要比其少 5% 左右.

4.5 节点免疫率与时间

图 5 与图 6 分别显示了随着时间的演变,网络中补丁数所占的比例的情况,我们姑且称之为节点

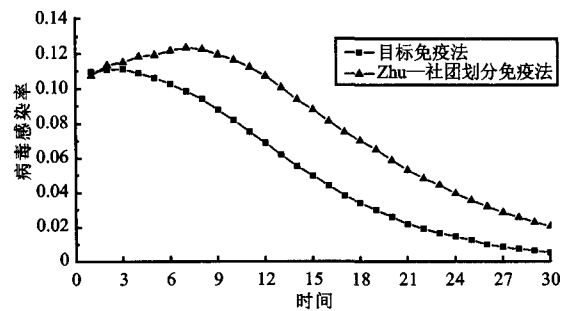


图 3 病毒感染率与时间($\alpha=10\%$)

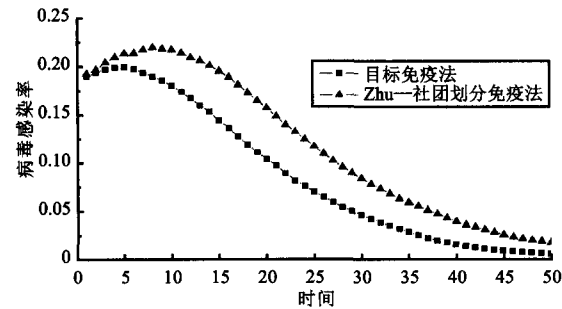


图 4 病毒感染率与时间($\alpha=20\%$)

免疫率. 图 5 与图 6 分别对应于病毒感染率阈值 α 为 10% 和 20% 的情况. 从两幅图中我们可以看出, 若使用我们提出的基于目标免疫的方法, 在任一时刻, 网络中的节点免疫率都要比 Zhu 提出的社团划分免疫法要高出大约 3% 左右. 这从侧面反映出我们所提出的方法不仅可以显著阻止网络中病毒的传播, 而且能够更快地将补丁传播给网络中的各个部分.

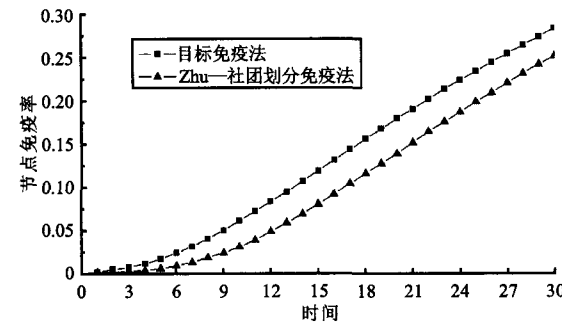


图 5 节点免疫率与时间($\alpha=10\%$)

5 结束语

在本文中, 我们主要研究了在线社交网络上的病毒免疫策略的制定, 以阻止病毒通过移动网络在在线社交网络上进行传播. 针对现有方法的不足, 我们利用用户的交互信息, 提出了基于目标免疫策略的方法, 并将其与现有方法进行了比较. 实验结果表明, 我们所提出的方法比现有的方法更为快速有效.

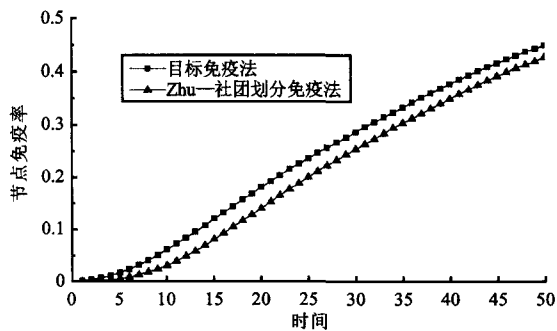


图 6 节点免疫率与时间($\alpha=20\%$)

参考文献:

[1] Brennan Slattery. PCWorld , Facebook virus turns your computer into a zombie [EB/OL]. [2008-12-5]. http://www.pcworld.com/article/155017/facebook_virus_turns_your_computer_into_a_zombie.html.

[2] Robert Vamosi. Koobface virus hits Facebook [EB/OL]. [2008-12-4]. <http://news.cnet.com/koobface-virus-hits-facebook>.

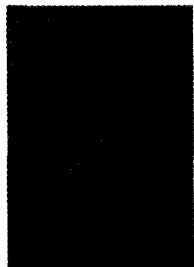
[3] FSECURE. Fsecure virus information pages: cabir [EB/OL]. [2012-06-15]. <http://www.fsecure.com/v-descs/cabir.shtml>.

[4] VojnoviC M and Ganesh A. On the effectiveness of automatic patching [C]// Proceedings of the 2005 ACM workshop on Rapid malware. New York: ACM, 2005: 41-50.

[5] Zou Z, Cao G, Zhu S, et al. A social network based patching scheme for worm containment in cellular networks [C]// INFOCOM. [s. l.]: IEEE, 2009: 505-533.

[6] Nam P Nguyen, Thang N Dinh, Sindhura Tokala, et al. Overlapping communities in dynamic networks: their detection and mobile applications [C]// proceedings of the 17th annual international conference on Mobile computing and networking. New York: ACM, 2011:85-96.

作者简介:



黄鑫 男, (1988-), 工学硕士. 研究方向为社交网络.

邓倩妮 女, (1973-), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为高性能计算及其应用、数据中心网络.